

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-122897  
(P2002-122897A)

(43) 公開日 平成14年4月26日 (2002. 4. 26)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	チーコード <sup>*</sup> (参考)
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 2 H 0 5 0
G 0 2 B 6/10		G 0 2 B 6/10	C 2 K 0 0 2
6/16		6/16	5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/30		H 0 1 S 3/30	Z 5 K 0 0 2
H 0 4 B 10/17		H 0 4 B 9/00	J
審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 10 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2000-316626(P2000-316626)

(22) 出願日 平成12年10月17日 (2000. 10. 17)

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 加藤 祐司

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

(72) 発明者 江森 芳博

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

(74) 代理人 100076369

弁理士 小林 正治

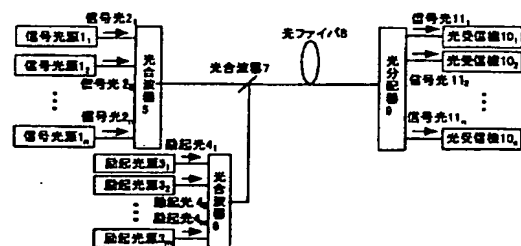
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 信号光と励起光、或いは励起光同士で発生する四光波混合や信号光のパルス間非線形効果等によって信号光の伝送特性が劣化する。

【解決手段】 信号光源と、信号光源から出力された信号光をラマン増幅するための励起光源と、前記信号光を伝送するとともに前記信号光をラマン増幅する媒体となる光ファイバと、前記励起光を前記光ファイバに入力する手段と、前記信号光を前記光ファイバに入力する手段とから構成され、前記光ファイバの零分散波長が前記励起波長と前記信号光との間の波長帯域から外れた範囲の波長に設定されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 信号光源と、信号光源から出力された信号光をラマン増幅するための励起光源と、前記信号光を伝送すると共に同信号光をラマン増幅する媒体となる光ファイバと、前記励起光を前記光ファイバに入力する手段と、前記信号光を前記光ファイバに入力する手段とから構成され、前記光ファイバの零分散波長が前記励起光の波長と前記信号光の波長との間の波長帯域から外れた範囲の波長に設定されていることを特徴とする光伝送システム。

【請求項2】 信号光源及び励起光源が波長多重光源であることを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項3】 励起光を光ファイバに入力する手段が光ファイバの前段と後段とに設けられ、光ファイバの前後から励起光が導入されていることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の光伝送システム。

【請求項4】 光ファイバは、信号光の波長帯において正の分散値D1を持つ長さL1の光ファイバと、負の分散値D2を持つ長さL2の光ファイバとが、 $D1L1+D2L2=0$ の関係を満足するように組み合わせられてなることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の光伝送システム。

【請求項5】 光ファイバは、光信号の波長帯における分散値の絶対値が $9\text{ ps/nm/km}$ 以下であることを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の光伝送システム。

【請求項6】 光ファイバは、そのカー効果を $n_2$ 、コア有効断面積を $A_{\text{eff}}$ としたとき、 $n_2/A_{\text{eff}}$ が $4 \times 10^{-10}/\text{W}$ 以上であることを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の光伝送システム。

【請求項7】 光ファイバは、波長 $1610\text{ nm}$ における分散値を $D_{1610}(\text{ps/nm/km})$ とすると、 $0 < D_{1610} \leq 9$

を満たし、波長 $1410\text{ nm}$ から $1610\text{ nm}$ において零分散波長を持たず、カットオフ波長が $1410\text{ nm}$ 未満であることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の光伝送システム。

【請求項8】 光ファイバは、波長 $1610\text{ nm}$ における分散値を $D_{1610}(\text{ps/nm/km})$ とすると、 $0 < D_{1610} \leq 9$

を満たし、波長 $1450\text{ nm}$ から $1610\text{ nm}$ において零分散波長を持たず、カットオフ波長が $1450\text{ nm}$ 未満であることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の光伝送システム。

【請求項9】 光ファイバは、波長 $1570\text{ nm}$ における分散値を $D_{1570}(\text{ps/nm/km})$ とすると、 $0 < D_{1570} \leq 9$

を満たし、波長 $1410\text{ nm}$ から $1570\text{ nm}$ において零分散波長を持たず、カットオフ波長が $1410\text{ nm}$ 未満であることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の光

伝送システム。

【請求項10】 光ファイバは中心から外側に向かって第1コアと第2コアの2層のコア構造を有し、前記コアの外側に配置されるクラッドの屈折率に対する第1コア及び第2コアの屈折率をそれぞれ $\Delta 1(\%)$ 、 $\Delta 2(\%)$ とすると、

$$0.7 \leq \Delta 1 \leq 2.2$$

$$\Delta 2 \leq -0.25$$

であることを特徴とする請求項7乃至請求項9のいずれかに記載の光伝送システム。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光ファイバ型のラマン増幅器を用いた光伝送システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図15は、伝送路である光ファイバのラマン散乱を利用した従来の光伝送システムの概略図である。同図に示す光伝送システムでは、波長の異なる複数の信号光源 $1_1, 1_2 \dots 1_n$ から出力された信号光 $2_1, 2_2 \dots 2_n$ は光合波器5で合波され、一方、波長の異なる複数の励起光源 $3_1, 3_2 \dots 3_m$ から出力された励起光 $4_1, 4_2 \dots 4_m$ は光合波器6で合波される。さらに信号光と励起光は光合波器7によって合波され、光ファイバ8に入力される。信号光はラマン増幅されながら光ファイバ8中を伝搬し、光分波器9で波長別に各信号光 $11_1, 11_2 \dots 11_n$ に分波され、光受信機 $10_1, 10_2 \dots 10_n$ で受信される。励起光源 $3_1, 3_2 \dots 3_m$ には、多モードで発振する励起光源が一般的に用いられる。

【0003】 また、光ファイバ型のラマン増幅器を用いた光伝送システムには、光ファイバの長手方向の光強度分布をより均一にするために、励起光を図15に示す光ファイバ8の前方（信号光の入力側）と後方（信号光の出力側）の両方から入力して双方向励起するシステムもある。

【0004】 光ファイバ8が石英系ファイバの場合には、ラマン増幅の最大の利得ピークは、励起光の光周波数より $13\text{ THz}$ 小さい光周波数に存在する。例えば、 $1.5\text{ }\mu\text{ m}$ 帯域の光伝送システムにおいて、 $1580\text{ nm}$ の信号光が最大のラマン利得を得るためには、励起光の波長を $1480\text{ nm}$ に配置する必要がある。波長多重光伝送システムでは、短波長側の励起光が短波長側の信号光をラマン増幅し、長波長側の励起光が長波長側の信号光をラマン増幅する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 光ファイバの零分散波長が信号光の波長と励起光の波長の間に存在すると、信号光帯域の近傍で信号光と励起光とによる四光波混合が起こり、信号光の伝送特性を劣化させる。

【0006】 四光波混合の発生効率 $\eta$ が大きくなると、四光波混合に搾取される励起光の光強度も大きくなり、

信号光は大きなラマン利得を得られない。

【0007】信号光と励起光とによって発生する四光波混合の発生効率 $\eta$ は、特に信号光と励起光が光ファイバ中を同方向に伝搬する場合に大きくなるので、双方向励起が不可能となり、最適な光伝送システムを構築できない。

【0008】波長の異なる複数の励起光が存在する波長多重光伝送システムでは、励起光同士による四光波混合が信号光の帯域において発生し、信号光の伝送品質を劣化させる。

【0009】四光波混合が発生する光周波数 $f_{wm}$ は、 $f_{wm}=f_i+f_j-f_k$ であることが知られており、図16に示すように、信号光 $2_1, 2_2 \dots 2_n$ と励起光 $4_1, 4_2 \dots 4_m$ とによる四光波混合が信号光 $2_1, 2_2 \dots 2_n$ の近傍に発生する。ただし、 $f_i, f_j, f_k$ は信号光 $2_1, 2_2 \dots 2_n$ もしくは励起光 $4_1, 4_2 \dots 4_m$ の光周波数であり、 $i \neq k, j \neq k$ である。発生した四光波混合の光強度が大きい場合には、信号光 $2_1, 2_2 \dots$

$$\Delta\beta = \beta_i + \beta_j - \beta_k - \beta_m$$

$$= \frac{\pi\lambda^4}{c^2} D_s \{ (f_i - f_0) + (f_j - f_0) \} (f_i - f_k) (f_j - f_k)$$

ここで $\beta$ は伝搬定数、 $c$ は光の速度、 $\lambda$ は波長、 $D_s$ は光ファイバの分散スロープ、 $f_i, f_j, f_k$ （ただし、 $i \neq k, j \neq k$ ）は信号光 $2_1, 2_2 \dots 2_n$ もしくは励起光 $4_1, 4_2 \dots 4_m$ の光周波数、 $f_0$ は光ファイバの零分散波長を光周波数に換算したものである。また、数2の近似は、信号光と励起光が光ファイバ中を同方向に伝搬する場合である。数1及び数2から、光ファイバの零分散波長が、信号光 $2_1, 2_2 \dots 2_n$ と励起光 $4_1, 4_2 \dots 4_m$ の間にある場合には、信号光 $2_1, 2_2 \dots 2_n$ と励起光 $4_1, 4_2 \dots 4_m$ で発生する四光波混合の発生効率 $\eta$ が大きくなり、信号光 $2_1, 2_2 \dots 2_n$ の伝送特性は四光波混合によって大きく劣化することがわかる。

【0012】前記諸問題を解決する手段として、励起光の強度を小さくすることが考えられるが、これではラマン増幅の利得が低下してしまう。

【0013】また、 $1.3\mu\text{m}$ 帯に零分散波長を持つ、通常のシングルモードファイバ(SMF)を伝送路に用いることも考えられるが、SMFではラマン利得の大きさに関与する $n_2/A_{\text{eff}}$ が比較的小さいため、伝送路の損失を十分補償できるほどのラマン利得を得ることができないという問題がある。ここで、 $n_2$ はカー係数、 $A_{\text{eff}}$ は有効断面積である。さらに、SMFでは、 $1.5\mu\text{m}$ 帯域の信号光は約 $+17\text{ps/nm/km}$ という大きな光ファイバ分散によって広げられたパルス同士が重なり、その結果、パルスが重なった部分で四光波混合や相互位相変調のパルス間非線形効果が起こる。以上によりSMFを用いることは良好な解決手段とは言えない。

【0014】

【課題を解決するための手段】本件出願の光伝送システ

\* $2_n$ の伝送特性が劣化してしまう。この四光波混合の光強度は発生効率 $\eta$ に比例し、発生効率 $\eta$ は次の数1で表されることが知られている（例えば、MARI W. MAEDA, J. Lightwave Technology, vol. 8, no. 9, pp. 1402, 1990）。

【0010】

【数1】

$$\eta = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2} \left( 1 + \frac{4e^{-\alpha} \sin^2\left(\frac{\Delta\beta L}{2}\right)}{(1 - e^{-\alpha})^2} \right)$$

ここで、 $\alpha$ は光ファイバの損失、 $L$ は光ファイバの長さである。 $\Delta\beta$ は四光波混合の位相整合条件を表しており、次の数2で与えられる。

【0011】

【数2】

μの一つは、信号光源と、信号光源から出力された信号光をラマン増幅するための励起光源と、前記信号光を伝送すると共に前記信号光をラマン増幅する媒体となる光ファイバと、前記励起光を前記光ファイバに入力する手段と、前記信号光を前記光ファイバに入力する手段とから構成され、前記光ファイバの零分散波長が前記励起光の波長と前記信号光の波長との間の波長帯域から外れた範囲の波長に設定されているものである。

【0015】本件出願の光伝送システムの他の一つは、信号光源及び励起光源を波長多重光源としたものである。

【0016】本件出願の光伝送システムの他の一つは、励起光を光ファイバに入力する手段を光ファイバの前段と後段とに設け、光ファイバの前後から励起光を導入するものである。

【0017】本件出願の光伝送システムの他の一つは、光ファイバが信号光の波長帯において正の分散値 $D1$ を持つ長さ $L1$ の光ファイバと、負の分散値 $D2$ を持つ長さ $L2$ の光ファイバとを $D1L1 + D2L2 \approx 0$ の関係を満足するように組み合わせるものである。

【0018】本件出願の光伝送システムの他の一つは、光信号の波長帯における分散値の絶対値が $9\text{ps/nm/km}$  ( $9 \times 10^{-12}$ 秒/nm/km) 以下の光ファイバを使用するものである。

【0019】本件出願の光伝送システムの他の一つは、カー効果を $n_2$ 、コア有効断面積を $A_{\text{eff}}$ としたとき、 $n_2/A_{\text{eff}}$ が $4.4 \times 10^{-10}/\text{W}$  (ワット) 以上の光ファイバを使用するものである。

【0020】本件出願の光伝送システムの他の一つは、

30

40

50

波長1610nmにおける分散値をD1610(ps/nm/km)とすると  
き、

$$0 < D1610 \leq 9$$

を満たし、波長1410 nmから1610 nmにおいて零分散波長を持たず、カットオフ波長が1410 nm未満の光ファイバを使用するものである。

【0021】本件出願の光伝送システムの他の一つは、波長1610nmにおける分散値をD1610(ps/nm/km)とすると  
き、

$$0 < D1610 \leq 9$$

を満たし、波長1450 nmから1610 nmにおいて零分散波長を持たず、カットオフ波長が1450 nm未満の光ファイバを使用するものである。

【0022】本件出願の光伝送システムの他の一つは、波長1570nmにおける分散値をD1570(ps/nm/km)とすると  
き、

$$0 < D1570 \leq 9$$

を満たし、波長1410 nmから1570 nmにおいて零分散波長を持たず、カットオフ波長が1410 nm未満の光ファイバを使用するものである。

【0023】本件出願の光伝送システムの他の一つは、中心から外側に向かって第1コアと第2コアの2層のコア構造を持ち、前記コアの外側に配置されるクラッドの屈折率に対する第1コア及び第2コアの屈折率をそれぞれ $\Delta 1$  (%)、 $\Delta 2$  (%)とすると、

$$0.7 \leq \Delta 1 \leq 2.2$$

$$\Delta 2 \leq -0.25$$

である光ファイバを使用するものである。

【0024】

【発明の実施の形態】（実施形態1）本発明の光伝送システムの実施形態の一例を図1に示す。図1に示した光伝送システムは、伝送路である光ファイバ8のラマン散乱を利用した光伝送システムである。具体的には、波長の異なる複数の信号光源1<sub>1</sub>、1<sub>2</sub>…1<sub>n</sub>から出力された信号光2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>…2<sub>n</sub>は光合波器5で合波される。一方、波長の異なる複数の励起光源3<sub>1</sub>、3<sub>2</sub>…3<sub>m</sub>から出力された、励起光4<sub>1</sub>、4<sub>2</sub>…4<sub>m</sub>は光合波器6で合波される。さらに信号光2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>…2<sub>n</sub>と励起光4<sub>1</sub>、4<sub>2</sub>…4<sub>m</sub>は光合波器7によって合波され、光ファイバ8に入力される。信号光はラマン増幅されながら光ファイバ8中を伝搬して、光分波器9で波長別に各信号光11<sub>1</sub>、11<sub>2</sub>…11<sub>n</sub>に分波され、光受信機10<sub>1</sub>、10<sub>2</sub>…10<sub>n</sub>で受信される。このように、信号光2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>…2<sub>n</sub>が入力されるのと同じ方向から励起光4<sub>1</sub>、4<sub>2</sub>…4<sub>m</sub>を光ファイバに入力する励起方法を前方励起と呼ぶ。

【0025】図2に示すように、前記光ファイバ8はその零分散波長を励起光4<sub>1</sub>、4<sub>2</sub>…4<sub>m</sub>の中で最も短波長に存在する励起光4<sub>1</sub>の波長以下に設けてある。これによって、前記数2の $\Delta \beta$ が大きくなるので（ $f_i$ =励起光、 $f_j$ =信号光とすると、 $f_i - f_0$ と $f_j - f_0$ は同符号となり、右辺の

中カッコ内が大きくなるため）、信号光2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>…2<sub>n</sub>と励起光4<sub>1</sub>、4<sub>2</sub>…4<sub>m</sub>で発生する四光波混合の発生効率 $\eta$ は低下する。四光波混合の発生効率が低下すれば、励起光4<sub>1</sub>、4<sub>2</sub>…4<sub>m</sub>の強度を小さくせずとも、信号光2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>…2<sub>n</sub>と励起光4<sub>1</sub>、4<sub>2</sub>…4<sub>m</sub>で発生する四光波混合の強度を小さくすることができる。この結果、四光波混合による伝送特性の劣化は低減する。

【0026】信号光2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>…2<sub>n</sub>と励起光4<sub>1</sub>、4<sub>2</sub>…4<sub>m</sub>で発生する四光波混合の発生効率 $\eta$ を低下させるためには、

10 図3に示すように、光ファイバ8の零分散波長を最長波長の信号光2<sub>n</sub>の波長以上に設けても良い。但し、この場合は、信号光2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>…2<sub>n</sub>同士で発生する四光波混合の発生効率が増大するため、伝送特性が劣化する可能性がある。従って、光ファイバ8の零分散波長は前記の通り最短波長の励起光4<sub>1</sub>の波長以下に設けるのがより望ましい。尚、光ファイバの零分散波長を信号光の波長や励起光の波長よりも十分長波長側に設ける例が特開昭58-85588号に開示されているが、このようにすると、信号光同士の四光波混合が発生するため望ましくない。

20 【0027】以上のように、信号光2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>…2<sub>n</sub>と励起光4<sub>1</sub>、4<sub>2</sub>…4<sub>m</sub>とで発生する四光波混合の強度が小さくなれば、四光波混合に搾取されていた信号光と励起光の強度は増加する。これによって、信号光の強度の増加が伝送特性を改善させるのは勿論、励起光の強度が増加し、信号光が受けるラマン利得も増加するので、伝送特性が改善される。尚、図2、図3に示す光ファイバ8の分散曲線の傾きの符号は正でも、負でもよい。

【0028】（実施形態2）本発明の光伝送システムの実施形態の他の例を図4に示す。図4に示す光伝送システムの基本構成は前記実施形態1に示すものと同一である。異なるのは、波長の異なる複数の励起光源16<sub>1</sub>、16<sub>2</sub>…16<sub>m</sub>を光ファイバ8の後段に設け、励起光源16<sub>1</sub>、16<sub>2</sub>…16<sub>m</sub>から出力された励起光17<sub>1</sub>、17<sub>2</sub>…17<sub>m</sub>を光合波器18で合波して光ファイバ8の信号光の出力側から入力するようにしたことである（後方励起）。信号光2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>…2<sub>n</sub>が光ファイバ8中を伝搬しながらラマン利得を得ること、光ファイバ8の零分散波長は波長の異なる複数の信号光2<sub>1</sub>、2<sub>2</sub>…2<sub>n</sub>の中で最長波長である信号光の波長以上に設けられるか、波長の異なる複数の励起光17<sub>1</sub>、17<sub>2</sub>…17<sub>m</sub>の中で最短波長にある励起光の波長以下に設けられることは前記実施形態1と同様である。

40 【0029】（実施形態3）本発明の光伝送システムの実施形態のさらに他の例を図5に示す。図5に示す光伝送システムでは、励起光源3<sub>1</sub>、3<sub>2</sub>…3<sub>m</sub>を光ファイバ8の前段に設け、励起光源16<sub>1</sub>、16<sub>2</sub>…16<sub>p</sub>を光ファイバ8の後段に設けた。具体的には、励起光源3<sub>1</sub>、3<sub>2</sub>…3<sub>m</sub>から出力された励起光4<sub>1</sub>、4<sub>2</sub>…4<sub>m</sub>を光合波器6で合波する。一方、励起光源16<sub>1</sub>、16<sub>2</sub>…16<sub>p</sub>から出力された励起光17<sub>1</sub>、17<sub>2</sub>…17<sub>p</sub>を光合波器18で合波する。さらに、励起光4<sub>1</sub>、4<sub>2</sub>…4<sub>m</sub>は光結合器7により、光ファイバ8にその入力側（信

号光が入力される側) から入力され、励起光 $17_1$ 、 $17_2 \cdots 17_p$ は光合波器19により、光ファイバ8にその出力側(信号光が出力される側) から入力され、信号光を前・後方からラマン増幅する(双方向励起)。

【0030】ここで、励起光 $4_1$ 、 $4_2 \cdots 4_m$ の中で最も短波長にある励起光 $4_1$ の波長と、励起光 $17_1$ 、 $17_2 \cdots 17_p$ の中で最も短波長にある励起光 $17_1$ の波長が異なる場合には、光ファイバ8の零分散波長を、同光ファイバ8の前方から入力される最短波長の励起光 $4_1$ の波長以下にする

(図6)。これは、信号光 $2_1$ 、 $2_2 \cdots 2_n$ と励起光 $4_1$ 、 $4_2 \cdots 4_m$ が光ファイバ8中を同方向に伝搬する場合の方が、信号光 $2_1$ 、 $2_2 \cdots 2_n$ と励起光 $17_1$ 、 $17_2 \cdots 17_p$ が光ファイバ8中を反対方向に伝搬する場合よりも、信号光と励起光で発生する四光波混合の発生効率が高いからである。また、本実施形態においても、前記図3に示したように、光ファイバ8の零分散波長を、複数の信号光の中で最も長波である信号光 $2_n$ の波長以上に設けても良い。

【0031】(実施形態4) 前記実施形態1～3における励起光源が多モードで発振している場合は、図7に示すように、複数のモードの中で最も強度が大きいモードの波長を中心波長とし、光ファイバ8の零分散波長をその中心波長以下に設ける。このようにすると、信号光 $2_1$ 、 $2_2 \cdots 2_n$ と励起光4で発生する四光波混合の発生強度を小さくすることができる。何故なら、信号光 $2_1$ 、 $2_2 \cdots 2_n$ と励起光4で発生する四光波混合の発生強度は励起光4の強度に依存しているからである。

【0032】(実施形態5) ここでは、信号光が受ける光ファイバの分散の絶対値について述べる。信号光が大きな分散を受けた場合には、分散によってパルスが広がり、連続するパルスが重なる。このようにパルスが重なった場合には、パルス間で四光波混合や相互位相変調の非線形効果が起きることが知られている(例えばP. V. Mamyshev, et al., OPTICS LETTERS, vol. 24, No. 21, pp. 1454, 1999)。ラマン増幅器を使用した光伝送システムでは、10Gbps以上の伝送速度、50km以上の光ファイバが用いられるのが一般的であり、このシステムを対象に前記文献に基づいて信号光が許容できる光ファイバの分散を算出した結果を図8に示す。パルスの半値幅 $t$ とパルス間隔 $T(=1/\text{伝送速度})$ との比 $t/T$ が0.4以下の場合には、パルス間の非線形効果により伝送特性に大きな劣化が生じることが知られている。従来のSMFでは、パルス比 $t/T$ は約0.47となり、パルス間非線形効果が大きい。このパルス間非線形効果を回避するためには、信号光が受ける光ファイバの分散の絶対値を約9ps/nm/km以下にしなければならない。なお、40Gbpsの伝送速度では、信号光が受ける光ファイバの分散の絶対値の上限を、さらに小さくしなければならない。

【0033】また、光ファイバ8の分散の絶対値が約9ps/nm/km以下であっても、長距離伝送した場合には、分散が蓄積され、信号光のパルスが広がってしまう。この広

がり無くすためには、図9に示すように、正の分散 $D_1$ を持つ光ファイバ $8_1$ と、負の分散 $D_2$ を持つ光ファイバ $8_2$ とによって光ファイバ8を構成し、さらに、光ファイバ $8_1$ と $8_2$ の長さを夫々 $L_1$ と $L_2$ とした場合に、 $D_1 L_1 + D_2 L_2$ が可及的に零に近づくように、光ファイバ $8_1$ と $8_2$ を調整する。尚、図9に示す光ファイバ $8_1$ の分散の符号が負で、光ファイバ $8_2$ の分散の符号が正でも良い。

【0034】(実施形態6) ここでは、実施形態1～3における光ファイバ8の $n_2/A_{\text{eff}}$ について述べる。一つの励起光源で得られる励起光強度はせいぜい200mWであり、また、実際の伝送路には50km以上の光ファイバが使用されている。このようなパラメータをもとに計算した $n_2/A_{\text{eff}}$ とラマン利得の関係を図10に示す。図10より、光ファイバの損失を補償できるラマン利得を得るためには、 $n_2/A_{\text{eff}}$ は約 $4.4 \times 10^{-10}/\text{W}$ 以上なければならないことが分かる。従って、実施形態1～3で用いられる光ファイバの $n_2/A_{\text{eff}}$ を約 $4.4 \times 10^{-10}/\text{W}$ 以上とすることにより、大きなラマン利得を得ることができる。SMFでは、 $n_2/A_{\text{eff}}$ は $3.5 \times 10^{-10}/\text{W}$ 程度であり、光ファイバの損失を十分補償できるほどのラマン利得を得ることはできない。

【0035】(実施形態7) ここでは、C-バンドとL-バンドの波長帯(約1530nm～約1610nm)にある信号光が受ける分散の絶対値が約9ps/nm/km以下になる光ファイバの構造について記す。C-バンドとL-バンドの信号を励起するのに必要な励起光の波長は、約1410nm～約1490nmであるので、光ファイバの零分散波長は約1410nm以下にしなければならない。図11に示すようなW型のプロファイルを有する光ファイバの分散と波長の関係の計算例を図12に示す。光ファイバが図11に示す構造であるならば、零分散波長が約1400nm、信号光が受ける分散が約+9ps/nm/km以下である特性が得られる。また、図13には、図11の光ファイバの $n_2/A_{\text{eff}}$ の計算結果を示す。前記実施形態6で示したように、光ファイバの損失を補償するためには、 $n_2/A_{\text{eff}}$ が $4.4 \times 10^{-10}/\text{W}$ 以上なければならないが、図13に示すように、図11のプロファイルの光ファイバならば、 $4.4 \times 10^{-10}/\text{W}$ 以上の $n_2/A_{\text{eff}}$ を得ることができる。ただし、この計算では、 $n_2$ は最低値として、SMFの $2.2 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ を用いた(例えば、A. Boskovic, Optics Lett. vol. 21, pp.1966, 1996)。

【0036】(実施形態8) 本発明の光伝送システムの実施形態の一例を図14に示す。この伝送システムの伝送路は正分散のP-MDF20(Positive-Medial Dispersion Fiber)と負分散のN-MDF21(Negative-MDF)とから構成されており、P-MDF20の分散と長さをそれぞれ、 $D_p$ -MDFと $L_p$ -MDFとし、N-MDF21の分散と長さをそれぞれ $D_n$ -MDFと $L_n$ -MDFとした場合に、 $D_p \cdot L_p + D_n \cdot L_n = 0$ となるようにP-MDFとN-MDFを組合せてある。P-MDFとN-MDFの配置関係は、P-MDFが前段でN-MDFが後段でも良いし、N-MDFが前段でP-MDFが後段でも良い。P-MDFとは、

1.55 $\mu\text{m}$ 帯域の信号光が受ける光ファイバの分散が、NZ-DSF(Nonzero-Dispersion Shift Fiber)の分散2-8ps/nm/kmとSMFの分散16-20ps/nm/kmの間にある光ファイバである。一方、N-MDFは、P-MDFとは符号が異なるが、その絶対値はP-MDFの分散値にほぼ等しい(MDFについては、例えば、特願平11-181453号に開示されている)。

【0037】この伝送路には、信号光 $2_1 \cdots 2_n$ が入力される側から、ラマン増幅用の励起光 $4_1 \cdots 4_m$ が光合波器7を介して入力され、信号光 $2_1 \cdots 2_n$ が出力される側からもラマン増幅用の励起光 $17_1 \cdots 17_m$ が光合波器19を介して入力される。信号光 $2_1 \cdots 2_n$ は、前記P-MDF20とN-MDF21で構成された伝送路中をラマン増幅されながら伝搬し、光分配器9で各波長に分波された後に、光受信機 $10_1 \cdots 10_n$ で受信される。

【0038】本実施形態に示す光伝送システムでは、零\*

\*分散波長が信号光の波長と励起光の波長の間に存在しないP-MDF20とN-MDF21によって伝送路を構成することによって、信号光と励起光とで発生する四光波混合の効率を十分低下させ、四光波混合による信号光の伝送特性の劣化を防ぐことができる。また、信号光はSMFほど大きな分散を受けないため、パルス間非線形効果を抑圧することができる。さらに、P-MDFとN-MDFを組み合わせることにより、伝送路全体の分散をほぼ零にすることができる。

【0039】(実施形態9)本発明の光伝送システムにおける伝送路を構成する光ファイバのパラメータを表1に示す。尚、表1にパラメータを示した光ファイバは、第1コアの外側に第2コアが配置され、その第2コアの外側にクラッドが配置された基本構造を備えている。

【0040】

【表1】

	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	a ( $\mu\text{m}$ )	b ( $\mu\text{m}$ )	ゼロ分散波長 (nm)	分散(1570nm) (ps/nm/km)	分散(1610nm) (ps/nm/km)	MFD(1570nm) ( $\mu\text{m}$ )	$n_2/\Delta n$ (1/w)	カットオフ (nm)
1	0.6	-0.60	6.9	11.5	1375	8.1	**	7.15	6.7	985
2	0.7	-0.60	6.5	10.9	1392	7.6	8.7	6.72	8.1	1018
3	2.2	-0.60	4.8	8.0	1409	7.1	8.4	4.15	40.3	1372
4	2.3	-0.60	4.8	8.0	1404	7.8	9.1	4.11	42.4	1418
5	0.7	-0.20	6.3	10.5	1412	7.4	9.0	6.66	8.5	1084
6	0.7	-0.25	6.3	10.5	1405	7.4	8.8	6.47	8.7	1085
7	0.6	-0.60	6.6	11.0	1431	6.0	**	7.30	6.4	963
8	0.7	-0.60	6.4	10.6	1428	6.6	6.9	6.83	7.8	1001
9	2.2	-0.60	4.8	8.0	1419	7.0	8.4	4.14	40.5	1424
10	2.3	-0.60	4.8	8.0	1418	7.6	9.0	4.06	43.0	1459
11	0.7	-0.20	6.1	10.2	1452	6.8	8.8	6.89	7.7	1124
12	0.7	-0.25	6.2	10.3	1435	6.9	8.6	6.76	8.0	1105
13	0.6	-0.60	7.5	12.5	1359	**	**	**	**	977
14	0.7	-0.60	6.9	11.5	1386	8.2	9.6	7.28	6.9	996
15	2.2	-0.60	4.8	8.0	1409	7.1	8.4	4.15	40.3	1372
16	2.3	-0.60	4.8	8.0	1404	7.8	9.1	4.11	42.4	1418
17	0.7	-0.20	6.4	10.7	1411	9.0	10.8	6.89	7.7	1180
18	0.7	-0.25	6.4	10.7	1408	8.6	10.5	6.77	7.9	1149

【0041】表1より同表1中の1～6の光ファイバについては、 $\Delta 1$ (クラッドの屈折率に対する第1コアの屈折率)が小さいと長波長側での伝送が不可能になり、大きすぎると励起光伝搬部でシングルモード動作しなくなるため、 $\Delta 1$ は0.7～2.2%でなければならないことがわかる。また、 $\Delta 2$ (クラッドの屈折率に対する第2コアの屈折率)はある程度以下の値でなければスローブを平坦にできずに零分散波長を1410nm以下に保ちつつ、1610nmの分散を9ps/nm/km以下にできなくなり、その上限は0.25%であることがわかる。表1中のその他の光ファイバ(7～18)についても同様に夫々のパラメータを特定することができる。

【0042】

【発明の効果】本件出願の光伝送システムは次のような効果を有する。

(1) 光ファイバの零分散波長を波長の異なる複数の信号光の中で最も長波長にある信号光の波長以上、もしくは、波長の異なる複数の励起光の中で最も短波長にある励起光の波長以下に設けることによって、信号光と励起光で発生する四光波混合による伝送特性の劣化を低減させることができる。

(2) 信号光と励起光で発生する四光波混合の発生効率が低下するので、四光波混合に搾取される励起光の強度の割合を減少させることができ、その結果、信号光が得られるラマン利得を増加させることができる。

(3) 励起光同士で発生する四光波混合の発生効率を低

下させ、その結果、この四光波混合が信号光の伝送特性を劣化させることを防ぐことができる。

(4) 信号光と同方向から光ファイバに励起光を入力することができるので、より最適な双方向励起光伝送システムを構築することができる。

(5) 光ファイバの零分散波長を、波長の異なる複数の信号光の中で最も長波長にある信号光の波長以上、もしくは、波長の異なる複数の励起光の中で最も短波長にある励起光の波長以下に設け、かつ、信号光が受ける光ファイバの分散の絶対値が約9ps/nm/km以下であるため、パルス間非線形効果を回避できるとともに、信号光と励起光で発生する四光波混合による伝送特性の劣化を低減させることができる。

(6) 光ファイバの零分散波長を波長の異なる複数の信号光の中で最も長波長にある信号光の波長以上、もしくは、波長の異なる複数の励起光の中で最も短波長にある励起光の波長以下に設け、かつ、光ファイバの $n_2/A_{eff}$ が $4.4 \times 10^{-10}/W$ 以上であるため、光ファイバの損失を補償するのに十分なラマン利得を得ることができるとともに、信号光と励起光で発生する四光波混合による伝送特性の劣化を低減させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態1に示す本発明の光伝送システムの概略を示すブロック図。

【図2】光ファイバの零分散波長の配置例の一つを示す説明図。

【図3】光ファイバの零分散波長の配置例の他の一つを示す説明図。

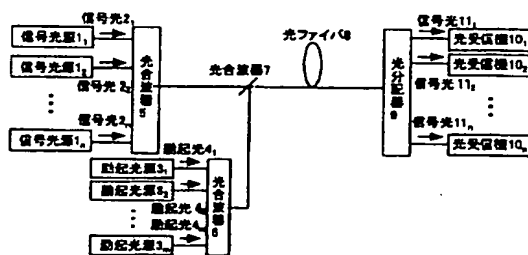
【図4】実施形態2に示す本発明の光伝送システムの概略を示すブロック図。

【図5】実施形態3に示す本発明の光伝送システムの概略を示すブロック図。

【図6】光ファイバの零分散波長の配置例の他の一つを示す説明図

【図7】光ファイバの零分散波長の配置例の他の一つを

【図1】



示す説明図。

【図8】信号光の分散によるパルス広がりを示す説明図。

【図9】本発明の光伝送システムにおける伝送路（光ファイバ）の一例を示す説明図。

【図10】光ファイバの $n_2/A_{eff}$ とラマン利得の関係を示す説明図。

【図11】W型プロファイルの光ファイバの構造を示す説明図。

10 【図12】W型プロファイルを有する光ファイバの分散と波長の関係の計算例を示す説明図。

【図13】W型プロファイルを有する光ファイバにおける $n_2/A_{eff}$ の計算結果を示す説明図。

【図14】実施形態8に示す本発明の光伝送システムの概略を示すブロック図。

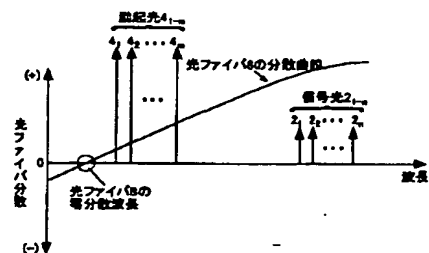
【図15】従来の光伝送システムの概略を示すブロック図。

【図16】従来の光伝送システムにおいて信号光の近傍で四光波混合が発生することを示す説明図。

20 【符号の説明】

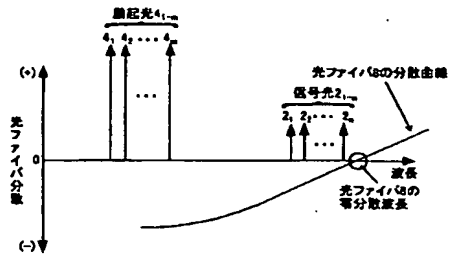
- 1 信号光源
- 2 信号光
- 3 励起光源
- 4 励起光
- 5 光合波器
- 6 光合波器
- 7 光合波器
- 8 光ファイバ
- 9 光分配器
- 30 10 光受信機
- 11 信号光
- 16 励起光源
- 17 励起光
- 18 光合波器
- 19 光合波器

【図2】

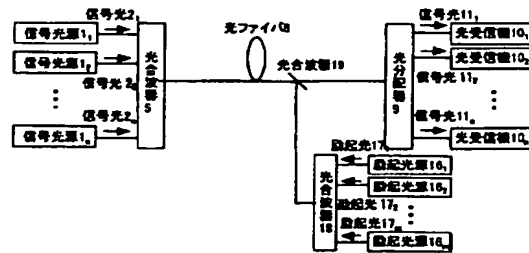




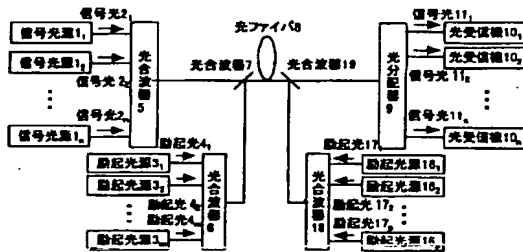
【図3】



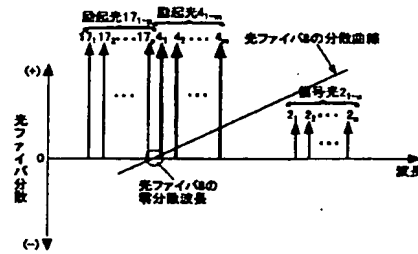
【図4】



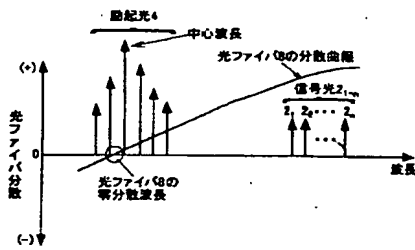
【図5】



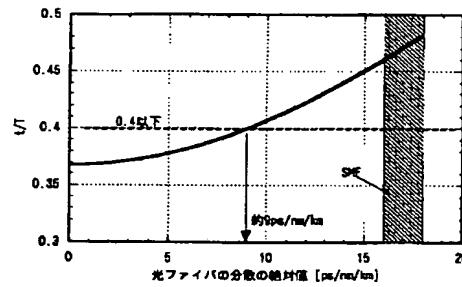
【図6】



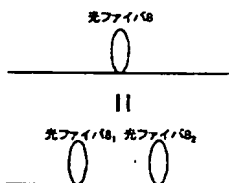
【図7】



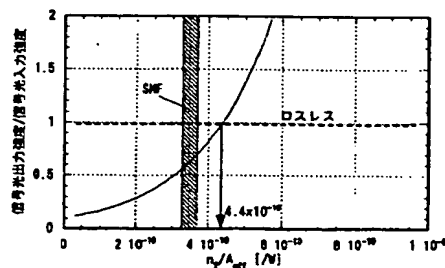
【図8】



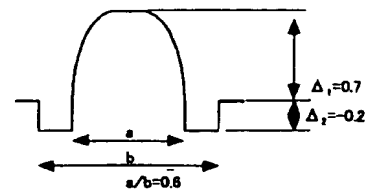
【図9】



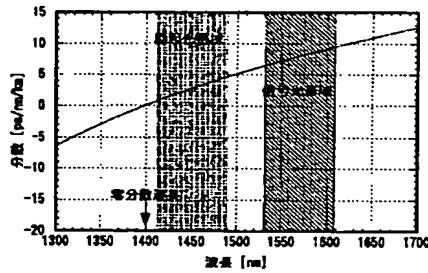
【図10】



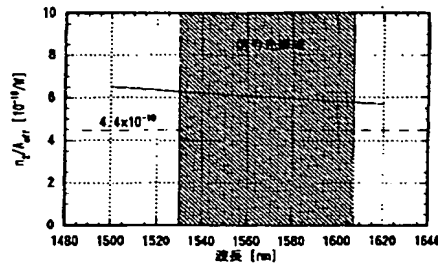
【図11】



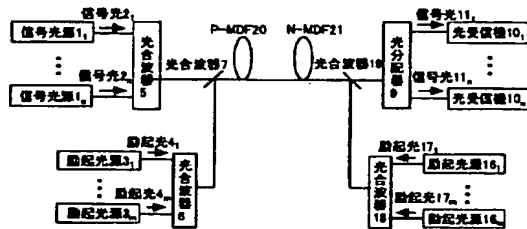
【図12】



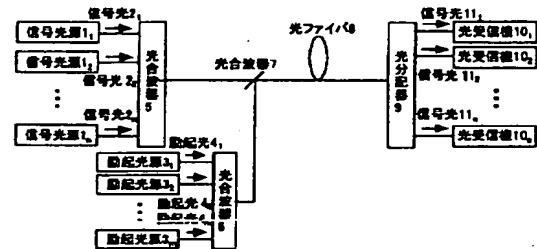
【図13】



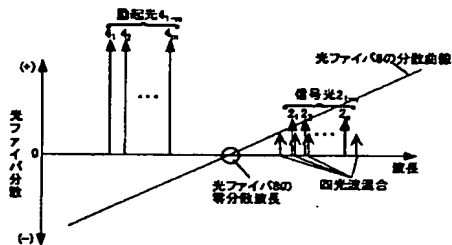
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H04B 10/16  
10/02  
10/18

識別記号

F I

H04B 9/00

マークシート(参考)

M

(72)発明者 泉川 寿治  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

(72)発明者 杉崎 隆一  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

(72)発明者 八木 健  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

(72)発明者 並木 周  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

Fターム(参考) 2H050 AD01 AD16  
2K002 AA02 AB30 BA01 CA15 DA10  
HA23  
5F072 AB07 AK06 KK30 QQ07 YY17  
5K002 AA06 CA01 CA13 DA02 FA01